

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Є. Г. Пономаренко

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

ІНЖЕНЕРНО-ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА
ГІДРОСФЕРИ МІСТА

*(для студентів 5 курсу денної та 6 курсу заочної форм навчання
освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» спеціальності
183 – Технології захисту навколишнього середовища)*

Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2017

Пономаренко Є. Г. Конспект лекцій з дисципліни «Інженерно-екологічна безпека гідросфери міста» (для студентів 5 курсу денної та 6 курсу заочної форм навчання освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища) / Є. Г. Пономаренко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. –18 с.

Автор канд. техн. наук, доц. Є. Г. Пономаренко

Рецензент д-р техн. наук, проф. Ф. В. Стольберг

Рекомендовано кафедрою інженерної екології міст, протокол № 1 від 31.08.2016 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ВОДОЙМ.....	4
Тема 1 Особливості процесів формування якості води в водоймах	4
Тема 2 Антропогенне евтрофування	5
Тема 3 Прогнозування екологічного стану водойм під впливом антропогенних факторів.....	7
Тема 4 Технології захисту та відновлення водойм	10
ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПРИБЕРЕЖНИХ ЗОН МОРІВ	11
Тема 5 Регламентація водокористування в прибережних зонах морів	11
Тема 6 Прогнозування екологічного стану прибережних зон морів під впливом антропогенних факторів	13
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	17

ВСТУП

Даний курс має надати студентам основні поняття, методи, технології щодо сучасних проблем екологічної безпеки водних ресурсів та можливих шляхів розв'язання цих проблем.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ВОДОЙМ

Тема 1 Особливості процесів формування якості води в водоймах

Відмінні риси водойм і водотоків

Можливість виникнення у водоймах вертикальної стратифікації.

Наявність вертикальної стратифікації водойм (поділ по шарах по вертикалі) пов'язане з вертикальним температурним профілем. Тому для водойм температура води є одним з найбільш важливих показників стану водойми. У ріках від температури води залежить в основному швидкість процесів трансформації речовин

Мінливості процесів по вертикалі

У водоймах розподіл температури по вертикалі визначає можливість обміну енергією і речовиною між різними по глибині шарами води. Вода виявляється розділеною на два суттєво різні горизонтальні шари. Особливо сильно це проявляється в літній період.

Освітленість

За законом Бера інтенсивність проникаючої у водойму сонячної енергії експоненціально зменшується із глибиною. Тому тільки в приповерхньому шарі водойми (евфотній зоні) існують умови освітленості достатні для фотосинтезу. Нижньою границею евфотної зони служить евфотний горизонт, що відповідає глибині, на якій інтенсивність сонячної радіації становить 5% (1%) від її інтенсивності на поверхні води. Первинна продукція виробляється тільки в евфотній зоні. У водотоках евфотний горизонт, як правило, збігається із дном.

Турбулентність

Процеси турбулентної дифузії у вертикальному і горизонтальному напрямку відбуваються по різному. Горизонтальна дифузія відбувається набагато швидше, чим вертикальна. Звичайно горизонтальні градієнти згладжуються протягом доби. Мінливість по вертикалі має річний масштаб.

Гідродинаміка

У водоймах істотну роль набувають вітрові навантаження, що породжують специфічні види течії. Руйнування термокліну в стратифікованих водоймах породжує вертикальне конвективне перемішування.

Відмінні риси озер і водоймищ

Водоймища завжди мають стік. Озера бувають стічні й безстічні.

Водоймища звичайно мають багатоцільове використання, наприклад, для водопостачання, регулювання річкового стоку, потреб зрошення, енергетики, рекреаційне і рибогосподарське використання. Озера звичайно використовуються тільки в рекреаційних і рибогосподарських цілях, іноді як джерело водопостачання.

Для водоймищ характерно відносно різка і сильна зміна рівня води, що викликається зміною витрати за рахунок водозаборів або водоскидів (особливо при використанні водоймища в енергетичних цілях, для зрошення або регулювання річкового стоку). В озерах спостерігається повільна і плавна зміна рівня води.

Швидкості течії у водоймищах суттєво більше, чим в озерах.

Тема 2 Антропогенне евтрофування

Евтрофування, під яким розуміють гіперпродукцію органічної речовини у водному об'єкті під дією зовнішніх (алохтонних) і внутрішньоводоймних (автохтонних) факторів, є однією із серйозних екологічних проблем, з якою зустрічаються майже всі розвинені країни. Евтрофуванню піддані практично будь-які водні об'єкти, однак найбільше яскраво воно проявляється у водоймах. Евтрофування водойм є природним процесом, його розвиток оцінюється геологічним масштабом часу. У результаті антропогенного надходження біогенних речовин у водні об'єкти відбувається різке прискорення евтрофування. Результатом цього процесу, що називається антропогенним евтрофуванням, є зменшення часового масштабу евтрофування від тисяч років до десятиліть.

Особливо інтенсивно процеси евтрофування протікають на урбанізованих територіях, що зробило їх одним з найбільш характерних ознак, властивих міським водним об'єктам.

Трофність водного об'єкта відповідає рівню надходження органічної речовини або рівню її продукування в одиницю часу і, таким чином, є вираженням спільної дії органічної речовини, що утворилася при фотосинтезі, і такої, що надійшла зовні. За рівнем трофності виділяють два крайні типи водних об'єктів – оліготрофні і евтрофні. Основні відмінності цих двох типів водних об'єктів наведені в таблиці 1.

Основним механізмом природного процесу евтрофування є замулювання водойм. Антропогенне евтрофування відбувається внаслідок надходження у воду надлишкової кількості біогенних елементів, як результат господарської діяльності. Високий зміст біогенів стимулює автотрофну гіперпродукцію

органічної речовини. Результатом цього процесу є цвітіння води внаслідок надмірного розвитку альгофлори. Серед біогенних елементів, що надходять у воду, найбільший вплив на процеси евтрофування надають азот і фосфор, оскільки їх вміст і співвідношення регулює швидкість первинного продукування. Інші біогенні елементи, як правило, містяться у воді в достатніх кількостях і не надають впливу на процеси евтрофування.

Таблиця 1 – Якісні відмінності трофічних рівнів

Характеристика	Трофічний рівень	
	Оліготрофний	Евтрофний
Фізико-хімічні характеристики		
Концентрація розчиненого кисню в гіполімніоні	Висока	Низька
Концентрація біогенних елементів	Низька	Висока
Концентрація завислих речовин	Низька	Висока
Проникнення світла	Гарне	Погане
Глибина	Велика	Невелика
Біологічні характеристики		
Продуктивність	Низька	Висока
Різноманітність видів гідробіонтів	Невелике	Велике
Фітопланктон:		
біомаса	Невелика	Велика
добові міграції	Інтенсивні	Обмежені
цвітіння	Рідке	Часте
характерні групи	Діатомові, зелені водорості	Зелені, синьозелені водорості

Для озер лімітуючим елементом найбільш часто є фосфор, а для водотоків таким є азот.

Віднесення водного об'єкта до певного рівня трофності здійснюється по надходженню органічної речовини. Оскільки зазначений параметр на практиці контролювати складно, у якості індикаторів трофічного рівня використовують інші характеристики водної екосистеми, що тісно пов'язані із трофічним станом водойми. Ці характеристики називають індикаторними. Найбільше часто в сучасній практиці в якості індикаторів використовують величини надходження біогенних речовин, концентрації біогенних речовин у водному об'єкті, швидкість виснаження кисню в гіполімніоні, прозорість води, біомасу

фітопланктону. Фітопланктон є основним первинним продуцентом у більшості водних екосистем. Тому екологічний стан більшості водойм визначається фітопланктоном і залежить від ряду фізичних, хімічних і біологічних факторів середовища проживання.

Тема 3 Прогнозування екологічного стану водойм під впливом антропогенних факторів

Особливості формування зони забруднення у водоймах

Основними особливостями, що притаманні процесам формування зон забруднення в водоймах є:

- слабка стокова течія або її повна відсутність у непротічних водоймах сповільнює видалення стічних вод від місця випуску. Тому зона забруднення формується повільно;

- епізодичні вітрові течії відносять забруднені води в будь-який бік, зона забруднення розмивається. Якщо у водоймі переважають різноспрямовані вітрові течії, то зона забруднення близька за своєю формою до кола;

- за рахунок істотної переваги маси, води що розбавляє, над стічною, у місці випуску стічних вод ступінь забруднення спочатку різко знижується. Але потім це забруднення поширюється повільніше, чим у ріках і розміри зони забруднення звичайно дуже великі. Зона забруднення може бути стійкою в часі і просторі або нестійкою, тобто міняти свої розміри і переміщатися на певній ділянці водойми. Стійкі зони забруднення, як правило, утворюються від постійних скидань стічних вод у водойми зі стійкими односпрямованими течіями. У ріках зона забруднення завжди стійка;

- завдяки вертикальній неоднорідності водойм важлива роль приділяється вибору розміщення випусків стічних вод по вертикалі;

- обмежене використання розсіюючих випусків. Вони є ефективними тільки при досить високих швидкостях течії і вираженій стоковій течії. Інакше відбувається нагромадження речовини в районі випуску і розсіючий випуск, не є ефективним.

Розрахунки змішування стічних вод з водою водойм

Метод Руфеля

Метод розроблений для оцінки розбавлення стічних вод в озерах і на ділянках водоймищ озерного типу, тобто на тих ділянках, де рух води обумовлений не стоковою, а вітровою течією. Його застосовують при наявності стійких вітрових течій:

- при випуску стічних вод у берега в напрямку руху води в забрудненому струмені уздовж берега (при напрямку вітру паралельно берегу;

- при випуску стічних вод через випуск, віднесений від берега вглиб водоймища, у напрямку руху води від випуску до берега (при напрямку вітру перпендикулярно берегу.

Вітровий вплив приводить до формування дрейфових течій. Дрейфова течія приводить до формування ухилу водної поверхні. У свою чергу ухил водної поверхні обумовлює появу складової сили ваги, яка діє в напрямку

ухилу, тобто проти вітру. Ця сила діє на водні маси по всій глибині і приводить до формування в глибинних шарах водойми течії, спрямованої проти вітру. Таку течію називають **компенсаційною течією**. Компенсаційна течія послабляє дрейфову. В результаті тривалого впливу вітру одного напрямку створюється сталий рух води. При цьому у поверхневому шарі, що складає близько 0,4 глибини, течія має однаковий з вітром напрямок. Нижче цієї глибини знаходиться шари води, що мають зворотній до вітру напрямок течії.

У розрахунках по методу Руфеля розглядаються два випадки:

- випуск у мілководну частину або у верхню третину глибини водойми;
- випуск у нижню третину глибини водойми.

Випуск стічних вод у середню третину глибини не рекомендується, оскільки швидкість течії в ній близько до нуля, що може створити область стійкого забруднення водойми.

Обмеження застосування методу Руфеля:

- глибина зони змішування не повинна перевищувати 10 м;
- при випуску у верхню третину глибини водойми відстань від випуску до контрольного створу уздовж берега не повинне перевищувати 20 км;
- при випуску в нижню третину глибини водойми відстань від випускного оголовка до берега напроти не повинне перевищувати 0,5 км.

Розрахунки кратності початкового розбавлення

При випуску стічних вод у верхню третину глибини розрахунок ведеться за формулою:

$$n_n = \frac{Q_{cm} + 0.00215w_2H^2}{Q_{cm} + 0.000215w_2H^2},$$

де Q_{cm} – витрата стічних вод, м³/с;

w_2 – швидкість вітру над водою в місці випуску стічних вод, м/с;

H – середня глибина водойми поблизу випуску, м.

При випуску стічних вод у нижню третину глибини розрахунок ведеться за формулою:

$$n_n = \frac{Q_{cm} + 0.000158w_2H^2}{Q_{cm} + 0.000079w_2H^2}.$$

Розрахунки кратності основного розбавлення

При випуску стічних вод у верхню третину глибини кратність основного розбавлення розраховується за формулою:

$$n_0 = 1 + 0,412 \left(\frac{L}{\Delta x} \right)^{0,627 + 0,0002 \frac{L}{\Delta x}}$$

$$\Delta x = 6,53 H^{1,167}$$

де L – відстань від випуску до контрольного створу, м.

При випуску стічних вод у нижню третину глибини основне розбавлення розраховується за формулою:

$$n_0 = 1,86 + 2,32 \left(\frac{L}{\Delta x} \right)^{0,41 + 0,0064 \frac{L}{\Delta x}}$$

$$\Delta x = 4,41 H^{1,167}$$

Метод Лапшева

Метод Н. Н. Лапшева можна застосовувати для розсіючих і зосереджених випусків при швидкості витікання стічних вод більш 2 м/с. Припускається, що випуск розташований на деякій відстані від берега, а глибина в місці устрою випуску більш 30 діаметрів випускного отвору.

Найменше розбавлення, що спостерігається на відстані L від місця випуску стічних вод в озеро або водоймище, визначають по формулі

$$n = A \left(\frac{0,2L}{d_0} \right)^{P \cdot S},$$

де A – параметр, що визначає зміну розбавлення при застосуванні розсіючого випуску, (при зосередженому випуску $A = 1$);

P – параметр, що залежить від ступеню проточності водойми і навантаження стічних вод на нього;

S – параметр, визначається відносною глибиною водойми.

$$A = 0,74 \left(\frac{L}{l_1} + 2,1 \right)^{-0.4}$$

де l_1 – відстань між оголовками розсіючого випуску.

Якщо течії визначаються вітром або відома швидкість стокової течії у водоймі, то величину P можна визначити за формулою:

$$P = \frac{V_n}{0,000015V_0 + V_n}.$$

де V_n – швидкість течії в проточному озері або водосховищі, м/с;

V_0 – швидкість витоку з випуску стічних вод, м/с.

У випадку, коли рух води в водоймі визначається стоком параметр P визначається формулою:

$$P = \frac{L_B \omega_0}{0,000015 \beta_b W_0 + L_B \omega_0},$$

де L_B – довжина водойми від місця випуска стічних вод в напрямку стокової течії, м;

ω_0 – сумарна площа випускних отворів, м²;

β_b – період обміну води в водоймі, роки;

W_0 – річний об'єм стічних вод, що скидаються, м³/рік.

$$S = 0.875 + \frac{0.325H}{360 + \left(\frac{V_n}{V_0}\right)10^5}.$$

Параметр S завжди ≤ 1 . якщо ж з розрахунку його значення виходить більше одиниці, то $S = 1$.

Тема 4 Технології захисту та відновлення водойм

У водоймах характер внутрішньоводоймних процесів багато в чому визначається ступенем і характером екологічної стратифікації. Найважливішою проблемою водойм є евтрофування, тому більшість захисних технологій спрямовані на протидію цьому процесу. Такі технології називаються технологіями деєвтрофування. Метою деєвтрофування є зниження рівня трофності водних об'єктів.

Видалення донних відкладань

Вміст біогенних елементів у донних відкладаннях звичайно збільшується від нижніх шарів до верхніх. Тому видалення верхніх шарів цих відкладань приводить до оголення шарів, збіднених біогенними елементами і, отже, до зниження переносу їх у водну товщу.

Екранування донних відкладань

Створює фізичний бар'єр на границі розділу «вода – донні відкладання». У якості екрану можуть використовуватися пластикові плівки, пісок, глина.

Відвід води з гіполімніона

У результаті з водойми вилучаються збагачені біогенами води. Ця технологія ефективна в глибоких водоймах з великим періодом водообміну.

Хімічна обробка

Заснована на використанні речовин, що сприяють осадженню біогенних елементів або перетворенню їх у менш доступну для мікроорганізмів форму.

Найбільш ефективним і екологічно безпечним є використання в цих цілях сульфату алюмінію.

Зміна умов середовища проживання

В основі цих технологій звичайно лежить затемнення, що приводить до зниження первинної продукції органічної речовини. Існують різні технології затемнення – використання спеціальних барвників, що вибірково пропускають сонячне світло, світлонепроникних плаваючих покриттів, посадка високих дерев по берегах.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ПРИБЕРЕЖНИХ ЗОН МОРІВ

Тема 5 Регламентація водокористування в прибережних зонах морів

Заборонено скидання із суден у внутрішні морські води та територіальне море України: вантажів, які перевозяться навалом, насипом чи у зрідженому стані; твердих забруднюючих речовин (відходів); вод, які містять забруднюючі речовини, у концентраціях, що перевищують нормативи гранично допустимих концентрацій основних забруднюючих речовин.

Перед заходом суден у внутрішні морські води та територіальне море України всі запірні пристрої, призначені для скидання забруднюючих речовин, у тому числі вод, що їх містять, повинні бути закриті адміністрацією судна. Під час постановки судна в морському порту всі зазначені пристрої опломбовуються у порядку, визначеному законодавством.

Забруднюючі речовини, в тому числі води, що їх містять, та сміття, повинні накопичуватися на судах у спеціальних місткостях. Під час перебування у внутрішніх морських водах та територіальному морі України судна можуть здавати в установленому порядку забруднюючі речовини, в тому числі води, що їх містять, та сміття, тільки на судна-збирачі, плавучі приймальні споруди, а під час перебування судна у порту – на берегові приймальні споруди.

У разі будь-якого скидання із суден у внутрішні морські води та територіальне море України забруднюючих речовин, в тому числі вод, що їх містять, та сміття, або їх втрат, а також у разі виникнення загрози такого скидання або втрати капітан судна зобов'язаний терміново повідомити про це капітана найближчого морського порту, вжити заходів до максимального зменшення скидання або втрати та до ліквідації забруднення. Для ліквідації наслідків аварійного скидання дозволяється використання хімічних і біологічних препаратів, які пройшли державну санітарно-гігієнічну експертизу,

а документація з їх впровадження – державну екологічну експертизу та мають позитивний висновок щодо їх використання.

У разі проведення робіт, пов'язаних з будівництвом гідротехнічних споруд, поглибленням дна для судноплавства, видобуванням корисних копалин, прокладанням кабелів, трубопроводів, інших комунікацій, а також проведенням бурових та геологорозвідувальних робіт, повинні передбачатися заходи щодо запобігання забрудненню внутрішніх морських вод і територіального моря стічними водами, забруднюючими речовинами, включаючи радіоактивні, відходами та сміттям.

У прибережній захисній смузі морів, морських заток і лиманів та на островах у внутрішніх морських водах забороняється: будівництво промислових об'єктів; застосування стійких та сильнодіючих пестицидів; влаштування полігонів побутових та промислових відходів і накопичувачів стічних вод; влаштування вигребів для накопичення господарсько-побутових стічних вод обсягом понад 1 м³ на добу; влаштування полів фільтрації та будівництво інших споруд для приймання і знезаражування рідких відходів.

Водокористувачі зобов'язані проводити моніторинг стану морського середовища в районі свого водокористування.

Скидання зворотних вод у внутрішні морські води і територіальне море України забороняється у разі, коли:

- води неочищені;
- води містять речовини, щодо яких не встановлено ГДК, збудники інфекційних захворювань, перевищують гранично допустимі скиди (далі – ГДС) токсичних речовин, а також за обсягом скидання забруднюючих речовин гранично допустимі нормативи;
- їх надходження до водного об'єкта призводить до збільшення вмісту забруднюючих речовин понад встановлені нормативи ГДК в контрольних точках або перевищення сформованих фонових значень;
- територія (акваторія) віднесена до природно-заповідного фонду, курортної, лікувально-оздоровчої, рекреаційної території, а також має наукове та історико-культурне значення.

Скидання стічних вод у внутрішні морські води та територіальне море України допускається лише за умови наявності нормативів ГДК речовин у водних об'єктах та встановлених нормативів ГДС забруднюючих речовин.

Контрольні точки для кожного водокористувача встановлюються проектом ГДС.

Нормативи ГДК для морів по низці показників відрізняються від аналогічних нормативів для прісних поверхневих вод. Значення ГДК для

морської води наведені в «Правилах охорони внутрішніх морських вод і територіального моря України від забруднення та засмічення».

Тема 6 Прогнозування екологічного стану прибережних зон морів під впливом антропогенних факторів

Розрахунки показників якості води в контрольному створі можуть бути виконані на основі формули

$$C = C_{\phi} + \frac{C_{\text{ст}} - C_{\phi}}{n},$$

де C_{ϕ} – фонові концентрації показника (на відстані більше 5 км від одиночного випуска), г/м³;

$C_{\text{ст}}$ – концентрація речовини в стічній воді, г/м³;

n – кратність розбавлення стічних вод.

Для розрахунку кратності початкового розбавлення зворотних вод спочатку визначається швидкість v_z (м/с) витікання зворотної води у море із затопленого випуску зворотних вод або із випуску з вільною поверхнею води (канава, лоток і т. ін.).

Якщо випуск затоплений, то

$$v_z = \frac{4q}{\pi d_o^2 N_o},$$

де q – секундні витрати зворотних вод, м³/с;

d_o – діаметр випускного отвору оголовка випуску, м;

N_o – кількість випускних отворів оголовка випуску (для зосередженого випуску $N_o = 1$, а для розсіючого $N_o > 1$).

Для випуску із вільною поверхнею води величина v_z приймається за даними її вимірювань при заданій витраті q зворотних вод та розраховується еквівалентний діаметр d_o випускного отвору:

$$d_o = \sqrt{\frac{4q}{\pi v_z}}.$$

Значення числа Фруда Fr , необхідне для розрахунку кратності початкового розбавлення, визначається за формулою

$$Fr = v_3 \sqrt{\frac{\rho_m}{gd_o |\rho_m - \rho_3|}},$$

де ρ_m – середня (за глибиною моря) густина морської води у зоні розбавлення зворотних вод, т/м³;

ρ_3 – густина зворотної води, т/м³;

$g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння.

Якщо виконуються умови

$$\rho_3 < \rho_m, \quad Fr \leq \frac{1,12 H_e}{d_o},$$

де H_e – відстань від випуску зворотних вод до поверхні моря, м (для випуску із вільною поверхнею води $H_e = 0$),

то кратність початкового розбавлення n_n розраховується за формулою

$$n_n = 0,54 Fr \left(\frac{0,38 H_e}{d_o Fr} + 0,66 \right)^{1,67}.$$

Якщо виконуються умови

$$\rho_3 > \rho_m, \quad Fr \leq \frac{0,434 H_e}{d_o (\sin \varphi)^{1,5}},$$

де φ – кут між напрямком витікання води із випуску зворотних вод і довільною горизонтальною площиною, то кратність початкового розбавлення n_n розраховується за формулою

$$n_n = 0,524 Fr (\sin \varphi)^{1/2} (1 - 0,06316 \sin^2 \varphi - 0,1583 \sin^4 \varphi).$$

Якщо не виконуються наведені вище умови, то кратність початкового розбавлення n_n розраховується у такий спосіб.

У випадку, коли $v_3 \leq 2$ м/с, або $v_3 < 4 u_m$, де u_m – характерна мінімальна швидкість течії морської води у зоні розбавлення зворотних вод, м/с, то $n_n = 1$.

Якщо $v_3 > 2 \text{ м/с}$ і $v_3 \geq 4 u_m$, то

$$n_n = \frac{0.425 v_3}{0.051 + u_m} f,$$

де f – коефіцієнт стиснення струменю.

$$f = 1,825 \frac{H}{d} - 0,781 \left(\frac{H}{d} \right)^2 - 0,0038,$$

де H – глибина моря в місці випуску, м;

d – діаметр струменю на межі зони початкового розбавлення, м.

$$d = v_3 d_0 \sqrt{\frac{38,6 \left(1 - \frac{u_m}{v_3} \right)}{0,051 + u_m}}.$$

Кратність основного розбавлення розраховується за формулою

$$n_o = \frac{\Phi(z_1)}{\gamma_0 z_2} \xi,$$

де

$$z_1 = \frac{l + x_0}{x_*}, \quad z_2 = \frac{q n_n}{u_m H^2} \sqrt{\frac{D_e}{D_z}}, \quad x_* = \frac{u_m H^2}{4 \pi D_e}, \quad x_0 = \begin{cases} z_2^2 x_* - l_n, & \text{якщо } z_2 \geq 1 \\ z_2 x_* - l_n, & \text{якщо } z_2 < 1 \end{cases},$$

$$\Phi(z_1) = \begin{cases} z_1, & \text{якщо } z_1 \leq 1 \\ \sqrt{z_1}, & \text{якщо } z_1 > 1 \end{cases}, \quad \xi = \exp \left[\frac{k(l + x_0)}{86400 u_m} \right], \quad \gamma_0 = 1 + \exp \left[-\frac{u_m l_0^2}{D_e(l + x_0)} \right],$$

де l_0 – відстань від випуску зворотних вод до найближчого берега, м;

D_e, D_z – відповідно коефіцієнти вертикальної та горизонтальної турбулентної дифузії, $\text{м}^2/\text{с}$;

k – коефіцієнт неконсервативності речовини, $1/\text{добу}$;

x_0 – параметр сполучення початкового участка розбавлення с основним участком, м;

u_m – швидкість морської течії, що відповідає неблагоприятній гідрологічній ситуації, м/с ;

x_* – параметр сполучення участка двомірної дифузії з участком римірної дифузії, м;

l_n – довжина початкового участка розбавлення, м;

γ_0 – параметр, що враховує вплив берега на кратність основного розбавлення;

Для консервативних речовин $k = 0$, а для неконсервативних – величина k розраховується за формулами:

$$k = \alpha k_{20} k_T,$$

$$\alpha = \begin{cases} 5, & \text{якщо } u_m \geq 0,2 \text{ м/с} \\ 5 - 4 \exp[-u_m(7 + 80 u_m)], & \text{якщо } u_m < 0,2 \text{ м/с} \end{cases},$$

$$k_T = 0,0451T + 0,101,$$

де k_{20} – коефіцієнт неконсервативності речовини у нерухомій морській воді при температурі 20^0 C , 1/добу;

T – температура морської води, ^0C .

Якщо течія морської води не спрямована уздовж берега, то $\gamma_0 = 1$.

Коефіцієнт вертикальної турбулентної дифузії D_v зазвичай приймають рівним $5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

Коефіцієнт горизонтальної турбулентної дифузії D_h визначається за формулою

$$D_h = 0,032 + 21,8 u_m^2.$$

Величина l_n визначається так:

– якщо виконуються умови $\rho_3 < \rho_m$, $Fr \leq \frac{1,12 H_e}{d_o}$, то $l_n = H_e$;

– якщо виконуються умови $\rho_3 > \rho_m$, $Fr \leq \frac{0,434 H_e}{d_o (\sin \varphi)^{1,5}}$, то

$$l_n = 5,36 \cos \varphi \sqrt{\sin \varphi} Fr d_o;$$

– якщо не виконуються наведені вище умови, то величина l_n розраховується за формулою

$$l_n = \frac{d - d_o}{0,48 (1 - 3,12 \frac{u_m}{v_3})}.$$

Загальна кратність розбавлення $n = n_n \cdot n_o$.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водне господарство в Україні / [За ред. А. В. Яцика, В. М. Хорєва]. – Київ : Генеза, 2000. – 456 с.
2. Йоргенсен С. Э. Управление озерными системами / С. Э. Йоргенсен. – М. : Агропромиздат, 1985. – 160 с.
3. Лапшев Н. Н. Расчеты выпусков сточных вод / Н. Н. Лапшев. – М. : Стройиздат, 1977. – 87 с.
4. Родзиллер И. Д. Прогноз качества воды водоемов – приёмников сточных вод / И. Д. Родзиллер. – М. : Стройиздат, 1984. – 263 с.
5. Хендерсон-Селлерс Б. Инженерная лимнология / Б. Хендерсон-Селлерс. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1987 – 336 с.
6. Экология города : Учебник / [Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ф. В. Стольберга]. – Киев : Либра, 2000. – 464 с.
7. Страшкраба М. Пресноводные экосистемы. Математическое моделирование / М. Страшкраба, А. Гнаук. – М. : Мир, 1989. – 376 с.
8. Б. Хэндерсон-Селлерс Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования / Б. Хэндерсон-Селлерс, Х. Р. Маркленд. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1990. – 280 с.

Навчальне видання

ПОНОМАРЕНКО Євгеній Георгійович

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ
з дисципліни

**«ІНЖЕНЕРНО-ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА
ГІДРОСФЕРИ МІСТА»**

*(для студентів 5 курсу денної та 6 курсу заочної форм навчання
освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» спеціальності
183 – Технології захисту навколишнього середовища)*

Відповідальний за випуск *Я. О. Герасименко*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2016, поз. 46Л

Підп. до друку 13.03.2017

Формат 60x84/16

Друк на ризографі

Ум. друк. арк. 1,1

Зам. №

Тираж 50 пр.

Виконавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК 4705 від 28.03.2014 р.